



Винникова Мария Сергеевна
Учащаяся 11 класса СУНЦ МГУ

Чем обусловлена окраска крови?

«Кровавый цвет», «цвета крови» – все эти понятия прочно укоренились в нашей голове. При упоминании данных эпитетов и метафор нам сразу представляются яркие картинки. Слово «кровь» стало синонимом красному. Но действительно ли вся кровь красная и какие еще цвета существуют? И чем обусловлена окраска крови?

В ходе эволюции кровеносной системы живых существ мы встречаемся с различными цветами крови. Разная кровь встречается у разных видов животных. Но не только это обуславли-

вает многообразие цвета. Например, отравление некоторыми веществами также может приводить к его изменению. Во всем этом мы сейчас попробуем разобраться.

Красная кровь

Красная кровь присуща людям и большинству других позвоночных. Её цвет обусловлен наличием в ней гемоглобина (рис. 1).



Рис. 1. Красные кровяные тельца
(https://autogear.ru/misc/i/gallery/65027/3_020999.jpg)

Гемоглобин – сложный железосодержащий белок, который способен обратимо связываться с кислородом, тем самым обеспечивая его перенос в ткани. У

позвоночных животных он содержится в эритроцитах, у большинства беспозвоночных эритрокуорин – разновидность гемоглобина – растворён в плазме крови и может присутствовать в других тканях.

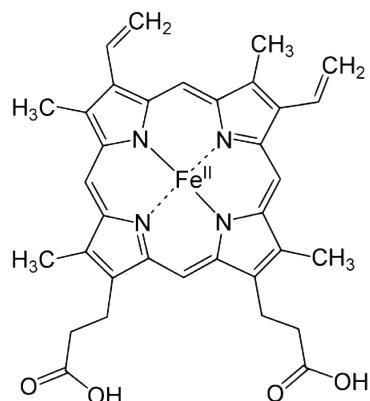


Рис. 2. Гем – простетическая группа (небелковая часть) гемоглобина

Гемоглобин состоит из четырёх белковых субъединиц, каждая из которых включает гем (рис. 2), связывающий кислород. Гемы являются комплексами порфирина с двухвалентным железом и

придают оксигенированной крови, преобладающей в артериальной, красный цвет. Деоксигенированная кровь, превалирующая в венозной, имеет тёмно-красный цвет.

Метгемоглобин

Метгемоглобин, также называемый гемоглобином М, отличается от обычного гемоглобина наличием трёхвалентного железа (рис. 3) вместо двухвалентного. Комплексное соединение порфина с трёхвалентным железом имеет фиолетовый, а не красный цвет (рис. 4). Такая форма гемоглобина плохо связывает кислород и не обеспечивает потребности тканей в кислороде.

Метгемоглобин может присутствовать в крови в небольших количествах и не представлять угрозу жизни, но при

отравлении угарным газом его количество заметно возрастает, что может привести к летальному исходу.

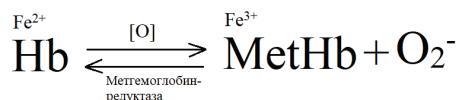


Рис. 3. Образование метгемоглобина под действием различных веществ и обратное восстановление в гемоглобин под действием фермента метгемоглобинредуктазы



Рис. 4. Руки человека, больного метгемоглобинемией (<https://doc-tv.ru/upload/files/24%283%29.jpg>)

Отравление цианидами

Ещё одной причиной изменения цвета крови на более темный, вишнёво-красный, цвет может служить отравление цианидами. Эти анионы образуют комплексы с ионами двухвалентного железа цитохромоксидазной системы. Цитохромоксидаза – это фермент, который катализирует окисление восстановленного цитохрома с кислородом, тем

самым завершая процесс переноса электронов аэробной дыхательной цепи. Вмешательство в работу этого фермента приводит к нарушению процесса обогащения кислородом тканей и вызывает цитотоксическую тканевую гипоксию. Даже после гибели отравившихся на их теле сохраняется алая окраска кожных покровов.

Голубая кровь

Голубая кровь характерна для моллюсков, членистоногих и онихофор. Свой цвет она приобретает благодаря ге-

мицианину (рис. 5), который является функциональным медью содержащим аналогом гемоглобина. В отличие от послед-

него, в основном входящего в состав эритроцитов, молекулы гемоцианина растворены в гемолимфе.

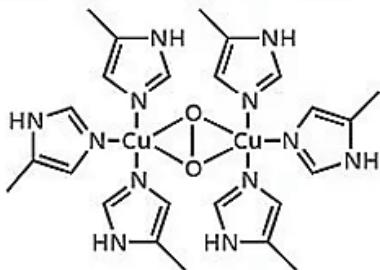


Рис. 5. Простетическая группа гемоцианина

Восстановленная форма гемоцианина бесцветна. Окисленная форма окрашивается в голубой цвет, наблюдается флуоресценция (рис. 6).

Зелёная кровь

Зелёная кровь встречается у некоторых многощетинковых червей и морских беспозвоночных, пиявок, также у части животных. В их крови содержится как гемоглобин, так и хлорокруорин, который, в свою очередь, и обуславливает такой оттенок крови.

Хлорокруорин (хлорогемоглобин) – железосодержащий белок, который, связываясь с кислородом, обеспечивает его перенос в ткани. Своими свойствами химически схож с гемоглобином.

Хлорокруорогем (простетическая группа хлорокуорина; рис. 7) отличается от гема главным образом тем, что вместо винильной группы при C-3 находится формильная группа.

Для этого пигмента характерен сильный дихроматизм (явление, при котором окраска вещества зависит от его концентрации), из-за чего его окраска при разбавлении меняется от красной до зелё-



Рис. 6. Внутренняя поверхность панциря краба *Cancer productus* окрашена гемоцианином в фиолетовый цвет (такая окраска объясняется тем, что внутренняя поверхность панциря имеет красный цвет, а гемоцианин сам по себе голубой)

(https://dic.academic.ru/pictures/wiki/files/72/Hemocyanin_Example.jpg)

ной. В то же время деоксигенированная и оксигенированная формы хлорокруорина почти не отличаются по окраске друг от друга.

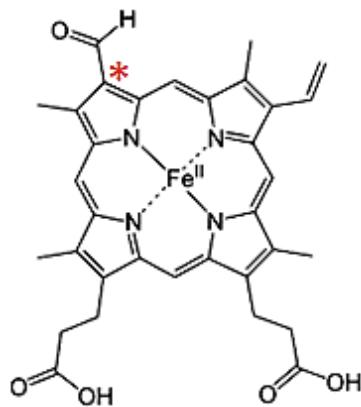


Рис. 7. Простетическая группа хлорокруорина (звездочкой обозначен атом C-3)

Фиолетовая кровь

Фиолетовая кровь свойственна пле-ченогим, сипункулидам, приапулидам и некоторым кольчатым червями (полихетам).

Гемеритрин – олигомерный железосодержащий белок, использующийся для

транспорта кислорода. Его активный центр содержит два катиона железа (II), соединённых между собой гидроксильной группой.

В деоксигенированной форме один из ионов имеет координационное число

5, а в другой – 6, степени окисления +2. В оксигенированной форме оба иона

приобретают координационное число 6 и степень окисления +3 (рис. 8).

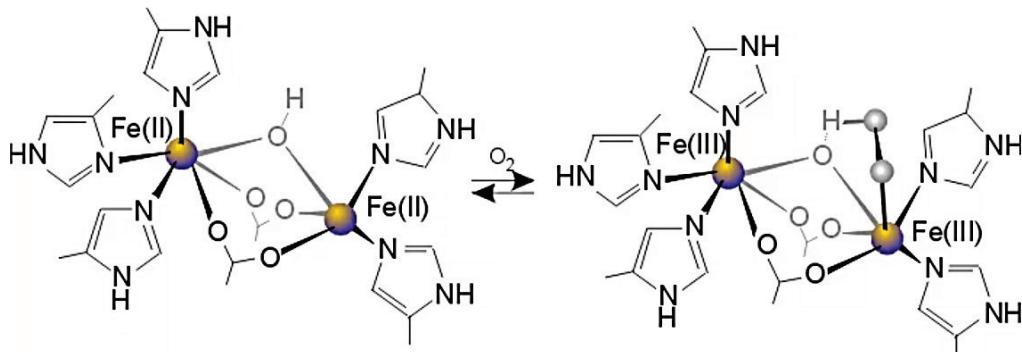


Рис. 8. Переход гемэритрина изdeoоксигенированной формы в оксигенированную форму
(<http://900igr.net/up/data1/112412/0022-046-.png>)

Насыщенный кислородом белок имеет фиолетовый оттенок, ненасыщенный – светло-розовый.

Данный пигмент связывает кислород прочнее, чем гемоглобин или миоглобин. Благодаря этому свойству он встречается у животных, способных

подолгу находиться в анаэробных условиях.

Помимо этого, гемэритрин практически не связывается с монооксидом углерода, тем самым предотвращая у организмов, использующих его, отравление угарным газом.

Перфторан

Перфторан (рис. 9), хотя и не является белком крови, тем не менее обладает газотранспортной функцией. Эта эмульсия на основе смеси перфтордекалина и перфторметилциклогексиллипоперидина является заменителем крови

и используется в медицине для переливания людям, которые по каким-то причинам отказываются от донорской крови (либо в случае её нехватки). В СМИ перфторан известен как «голубая кровь».

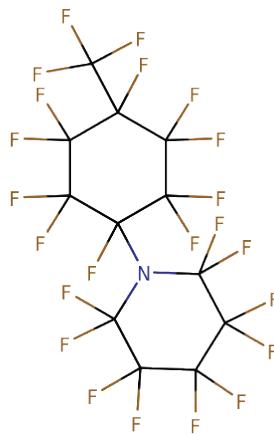
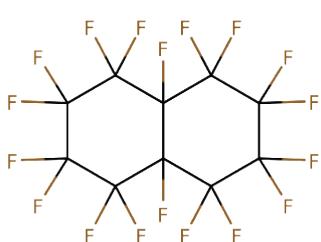


Рис. 9. Химическая структура компонентов перфторана
(<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/44/Perftoran.svg/1280px-Perftoran.svg.png>)

Таким образом, кровь не обязательно красная. Есть множество веществ, которые различны по своим структурам, физическим и химическим свойствам, но выполняют свою основную, газотранспортную, функцию. Каждый из приве-

дённых выше примеров имеет как свои плюсы, так и минусы. Попробуйте пофантазировать, какая кровь подошла бы для фантастического существа, живущего в определённых экстремальных условиях!

Литература

1. Виттенберг Б.А., Бриль Р.В., Виттенберг Дж.Б. Haemoglobins of invertebrate tissues. Nerve haemoglobins of Aphrodite, Aplysia and Halosydna. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1207048/>
2. Химия разноцветной крови. – URL: http://virtuallab.by/publ/interesnye_stati/interesnye_stati/khimija_raznycvetnoj_krovi/2-1-0-136
3. Метгемоглобинемия и метгемоглобин: понятие, норма и возникновение в крови, течение и формы, терапия. – URL: https://sosudinfo.ru/krov/_metgemoglobinemiya/
4. Астахов М.В. Отравление цианидами (Отравление синильной кислотой, Отравление цианистыми соединениями). – URL: <https://www.krasotaimedicina.ru/diseases/urgent/cyanide-poisoning>
5. Голотурии. – URL: <https://www.chem21.info/page/099160245041035133111013107104023043218016119241/>
6. Хлорокруорин. – URL: <https://www.chem21.info/info/191308/>
7. Стенкамп Р.Е. Dioxygen and Hemerythrin. – URL: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/cr00027a008>
8. Вистрам М., Липпард С.Дж., Фриснер Р.А. Reversible dioxygen binding to hemerythrin. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12656634/>
9. Перфторан. – URL: <https://perftoran.ru/index.php/ru>
10. Хлябич Г.Н. Кровезаменители – переносчики кислорода. – М.: Практическая медицина, 2011. – С. 241–247.